



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

Offenlegungsschrift
⑩ DE 100 33 269 A 1

⑤ Int. Cl. 7:
G 02 B 27/10
G 02 B 26/02

R3
DE 100 33 269 A 1

②① Aktenzeichen: 100 33 269.2
②② Anmeldetag: 10. 7. 2000
②③ Offenlegungstag: 31. 1. 2002

⑦① Anmelder:
Leica Microsystems Heidelberg GmbH, 68165
Mannheim, DE

⑦④ Vertreter:
Ullrich & Naumann, 69115 Heidelberg

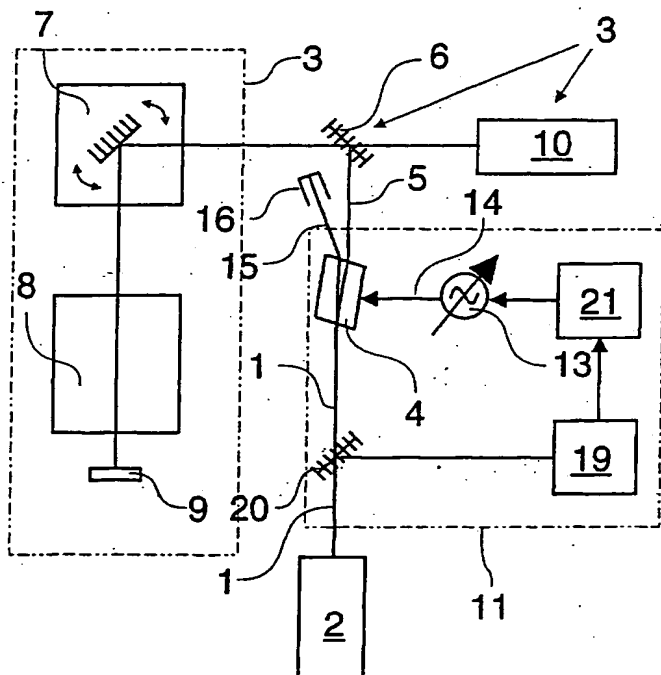
⑦② Erfinder:
Engelhardt, Johann, Dr., 76669 Bad Schönborn, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Vorrichtung zum Einkoppeln von Licht mindestens einer Wellenlänge einer Laserlichtquelle in einen optischen Aufbau

⑤⑦ Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Einkoppeln von Licht (1) mindestens einer Wellenlänge einer Laserlichtquelle (2) in einen optischen Aufbau (3), vorzugsweise in ein konfokales Rastermikroskop, mit einem optisch aktiven Bauteil (4), das insbesondere zur Selektion der Wellenlänge und zur Einstellung der Leistung des eingekoppelten Lichts (5) dient. Dass Leistungs- und/oder Wellenlängenänderungen der Laserlichtquelle sich nicht auf die Leistung des in den optischen Aufbau eingekoppelten Lichts (5) auswirken, ist die erfindungsgemäße Vorrichtung dadurch gekennzeichnet, dass zur Beeinflussung des eingekoppelten Lichts (5) das Bauteil (4) als Stellglied einer Regelung (11) dient.



DE 100 33 269 A 1

BEST AVAILABLE COPY

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Einkoppeln von Licht mindestens einer Wellenlänge einer Laserlichtquelle in einen optischen Aufbau, vorzugsweise in ein konfokales Rastermikroskop, mit einem optisch aktiven Bauteil, das insbesondere zur Selektion der Wellenlänge und zur Einstellung der Leistung des eingekoppelten Lichts dient.

[0002] Vorrichtungen der gattungsbildenden Art werden in der Praxis zum Einkoppeln von Licht in die unterschiedlichsten optischen Aufbauten verwendet. Insbesondere wenn Laserlicht mehrerer Wellenlängen in einen optischen Aufbau einzukoppeln sind, wird zum Einkoppeln ein optisch aktives Bauteil verwendet, da mit dem optisch aktiven Bauteil jeweils Licht einer Wellenlänge selektiert und in den optischen Aufbau eingekoppelt werden kann. Hierbei kann in besonders vorteilhafter Weise jeweils die Leistung des eingekoppelten Lichts einer bestimmten Wellenlänge ebenfalls durch das optisch aktive Bauteil eingestellt und verändert werden. Ein optischer Aufbau könnte beispielsweise ein konfokales Rastermikroskop oder eine Vorrichtung zur Projektion von Laserlicht auf eine Leinwand sein. Bei letzterem Aufbau ist es möglich, durch eine geeignete Scanvorrichtung ein farbiges Bild oder eine farbige Bildfolge zu projizieren, wobei an jedem projiziertem Bildpunkt ein anderer Farbwert vorliegen kann. Mit einem optisch aktiven Bauteil ist eine schnelle Leistungsänderung des Lichts der unterschiedlichen Wellenlängen möglich, so dass durch die Verwendung eines optisch aktiven Bauteils zum Einkoppeln von Laserlicht in eine Projektionsvorrichtung eine Darstellung von Bildern in Videogeschwindigkeit möglich ist. Auch bei der konfokalen Fluoreszenz-Rastermikroskopie ist eine linien- und/oder pixelweise veränderte Anregung mehrerer Fluoreszenzfarbstoffe mit Laserlicht unterschiedlicher Wellenlängen für viele Anwendungen hilfreich und wird in der Praxis angewandt.

[0003] Viele Laserlichtquellen weisen jedoch zum Teil große Schwankungen in der Lichtleistung sowie in der Wellenlänge des emittierten Lichts auf. Beispielsweise ist die Emissionswellenlänge von Diodenlasern von der Betriebstemperatur der Laserdiode abhängig, die emittierte Wellenlänge des Diodenlasers verändert sich um ca. 2 bis 3 nm pro Grad K. Damit einher geht darüber hinaus eine Veränderung der emittierten Leistung des Diodenlasers, was für sich gesehen für viele Anwendungen nicht tolerierbar ist. Wenn sich jedoch die Wellenlänge des emittierten Lichts verändert, ändert sich üblicherweise auch die Leistung des eingekoppelten Lichts in dem optischen Aufbau, da im Allgemeinen das optisch aktive Bauteil lediglich auf Licht einer bestimmten Wellenlänge bzw. eines scharf begrenzten Wellenlängenbereichs wirkt. Wenn sich jedoch die Wellenlänge bzw. der Wellenlängenbereich der Laserlichtquelle verändert, so ändert sich auch in nachteiliger Weise die Leistung des von dem optisch aktiven Bauteil eingekoppelten Lichts.

[0004] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zum Einkoppeln von Licht mindestens einer Wellenlänge einer Laserlichtquelle in einen optischen Aufbau anzugeben, bei der sich Leistungs- und/oder Wellenlängenänderungen der Laserlichtquelle nicht auf die Leistung des in den optischen Aufbau eingekoppelten Lichts auswirkt.

[0005] Die erfindungsgemäße Vorrichtung der gattungsbildenden Art löst die voranstehende Aufgabe durch die Merkmale des Patentanspruchs 1. Danach ist eine solche Vorrichtung dadurch gekennzeichnet, dass zur Beeinflussung des eingekoppelten Lichts das Bauteil als Stellglied einer Regelung dient.

[0006] Erfindungsgemäß ist zunächst erkannt worden, dass das optisch aktive Bauteil nicht nur zum Einkoppeln des Laserlichts in den optischen Aufbau verwendet werden kann, sondern darüber hinaus auch als Stellglied einer Regelung dienen kann. Hierdurch kann in vorteilhafter Weise – ein geeigneter Regelkreis vorausgesetzt – das eingekoppelte Licht derart beeinflusst werden, dass sich Schwankungen der Laserlichtquelle nur in einem akzeptablen Bereich oder überhaupt nicht auf die Leistung des eingekoppelten Lichts auswirkt.

[0007] In besonders vorteilhafter Weise wird durch die Regelung lediglich das optisch aktive Bauteil als Stellglied verwendet. Es handelt sich somit nicht um einen Versuch, die Laserlichtquelle selbst zu regeln, sondern die Regelung bedient sich eines Stellglieds, das sowieso in vielen Fällen zum Einkoppeln von Licht in einen optischen Aufbau vorgesehen ist. Licht in einen optischen Aufbau einzukoppeln. Demgemäß ist es in vorteilhafter Weise nicht notwendig, zusätzliche, teure und unter Umständen ebenfalls mit Fehlern behaftete optische Elemente vorzusehen, die die eingangs genannte Aufgabe zu lösen vermögen.

[0008] Im folgenden seien einige Regelungsstrategien genannt, die unterschiedlichen Anforderungen eines optischen Aufbaus gerecht werden können.

[0009] Die Regelung könnte derart ausgelegt sein, dass sie zur Minimierung von Lichtleistungsschwankungen des eingekoppelten Lichts dient. Hierbei können insbesondere Kurzzeitschwankungen der Laserlichtquelle berücksichtigt werden, die durch die Regelung entsprechend minimiert werden. Falls die Schwankungen der Laserlichtquelle auf thermischen Veränderungen beruht, handelt es sich im Allgemeinen um Schwankungen im Sekundenbereich, die ebenfalls durch die Regelung zu minimieren sind.

[0010] Weiterhin könnte ein zeitlicher Leistungsverlauf des einzukoppelnden Lichts vorgegeben sein, der durch die Regelung erzielt werden soll. Auch hierbei ist eine Minimierung von Lichtleistungsschwankungen des einzukoppelnden Lichts vorgesehen. Bei dem zeitlichen Leistungsverlauf könnte es sich beispielsweise um eine periodischen Amplitudenmodulation oder eine stetig steigende und/oder fallende Leistungsveränderung des einzukoppelnden Lichts handeln. Beispiele für eine solche Amplitudenmodulation sind rechteck, sägezahn- oder sinusförmige Leistungsverläufe.

[0011] Die Regelung könnte auch dahingehend ausgelegt sein, dass sie zur Maximierung der Lichtleistung des eingekoppelten Lichts dient. Dies ist insbesondere dann erforderlich, wenn sich die zur Verfügung stehende Leistung der Laserlichtquelle von der benötigten Lichtleistung in dem optischen Aufbau nur geringfügig unterscheidet.

[0012] Für viele Anwendungen wird die Regelung darauf abzielen, eine im Wesentlichen konstante Lichtleistung in den optischen Aufbau einzukoppeln. Auch die Einkopplung von Licht eines beliebigen Bruchteils der maximalen Lichtleistung ist denkbar.

[0013] In einer konkreten Ausführungsform ist die Regelung derart ausgebildet, dass eine von einem Benutzer durchgeführte Änderung und/oder Einstellung berücksichtigt wird, d. h. die geänderte Einstellung ist der Regelung bekannt. Falls die von einem Benutzer durchgeführten Änderungen und/oder Einstellungen der Regelung nicht bekannt sind, würde beispielsweise nach einer Erhöhung der Ausgangsleistung des Lasers direkt an der Lasersteuerung die Regelung jedoch nach wie vor zum Erzielen einer konstanten Lichtleistung des eingekoppelten Lichts diese Änderung zunichte machen, indem die Regelung die ursprünglich festgelegte konstante Lichtleistung in den optischen Aufbau eingekoppelt. Es muss also sichergestellt sein, dass die von ei-

nem Benutzer durchgeführten Änderungen und/oder Einstellungen als neue Sollwerte von der Regelung berücksichtigt werden und diese entsprechend geregelt werden. Neben den Änderungen und/oder Einstellungen der Emissionsleistung der Laserlichtquelle könnte auch das Verhältnis zwischen eingekoppeltem und nicht eingekoppeltem Licht verändert und/oder eine periodischen Amplitudenmodulation des einzukoppelnden Lichts von einem Benutzer vorgenommen werden.

[0014] In vorteilhafter Weise ist die Regelung mit einem Beleuchtungs- und/oder Detektionsvorgang des optischen Aufbaus synchronisierbar. Insbesondere bei der konfokalen Rastermikroskopie ist eine Synchronisation der Regelung mit dem Detektionsvorgang vorgesehen. Durch diese Maßnahme soll sichergestellt werden, dass insbesondere während eines Beleuchtungs- und/oder Detektionsvorgangs optimale Betriebsbedingungen vorliegen.

[0015] Bei dem optisch aktiven Bauteil handelt es sich um ein akustooptisches oder elektrooptisches Bauteil. In einer konkreten Ausführungsform ist das optisch aktive Bauteil ein AOTF (Acousto-Optical-Tunable-Filter) oder ein AOBS (Acousto-Optical-Beam-Splitter). Das AOTF bzw. AOBS ist von einer Steuereinheit steuerbar.

[0016] Ganz allgemein wird beim AOBS bzw. AOTF Licht einer bestimmten Wellenlänge an einer durch das Kristall des AOBS bzw. AOTF laufenden mechanischen Schallwelle gebeugt bzw. aufgrund der durch das Kristall verlaufenden mechanischen Schallwelle einer bestimmten Frequenz wird die Bragg-Bedingung für Licht einer der Frequenz der mechanischen Schallwelle entsprechenden Wellenlänge hergestellt. Demgemäß ist das Bauteil mit einer Schallwelle einer bestimmten Frequenz beaufschlagbar, so dass Licht eines der Frequenz der Schallwellen entsprechenden Wellenlängenbereichs in den optischen Aufbau bzw. in das konfokale Rastermikroskop einkoppelbar ist. Bei dem Wellenlängenbereich handelt es sich im Allgemeinen um einen spektral scharf begrenzten Bereich von wenigen Nanometern.

[0017] Durch die Amplitude der Frequenzbeschaltung des AOTF's bzw. AOBS's ist die Leistung des eingekoppelten Lichts beeinflussbar. Falls das optische Bauteil Licht aktiv in den optischen Aufbau einkoppelt, würde eine Erhöhung der Amplitude der mechanischen Schallwelle die Leistung des einzukoppelnden Lichts erhöhen. Bei einer aktiven Einkopplung wird nur das an einer Schallwelle einer bestimmten Frequenz gebeugte Licht in den optischen Aufbau eingekoppelt.

[0018] Zur Bestimmung des für die Regelung relevanten aktuell vorliegenden Ist-Werts ist vorgesehen, dass die Lichtleistung von einem entsprechenden Detektor detektiert wird. Hierbei kommen sämtliche gängigen Detektoren zur Bestimmung der Lichtleistung in Frage, beispielsweise eine Fotodiode oder ein Laser-Power-Meter.

[0019] In gleicher Weise ist eine Detektion der Änderung der Wellenlänge des Lichts vorgesehen. Hierbei könnte die Messung mit einem Spektrometer, Multibanddetektor oder mit einem Halbleiterwavemeter erfolgen. Bei einem Halbleiterwavemeter handelt es sich um einen Detektor, der aus zwei unterschiedlichen, übereinander angeordneten Fotodioden besteht, die unterschiedliche spektrale Detektionseigenschaften aufweisen. Bei einer Änderung der Wellenlänge des zu detektierenden Lichts ändern sich die von den beiden unterschiedlichen Fotodioden des Halbleiterwavemeters detektierten Intensitäten, was eine Bestimmung der geänderten Wellenlänge des gemessenen Lichts erlaubt.

[0020] Der zur Messung dienende Detektor kann vor und/oder nach dem optisch aktiven Bauteil angeordnet sein. Im Konkreten ist vorgesehen, dass der Detektor hinter einem

teildurchlässigen Spiegel, einem dichroitischen Strahlteiler, einer unbeschichteten Glasplatte und/oder einer beschichteten Glasplatte angeordnet ist. So könnte beispielsweise die Messung vor dem optisch aktiven Bauteil durch eine entsprechende Anordnung einer unbeschichteten Glasplatte in dem optischen Strahlengang zwischen der Laserlichtquelle und dem optisch aktiven Bauteil erfolgen. Die Glasplatte koppelt hierbei aus dem Beleuchtungsstrahlengang einen geringen Teil des Beleuchtungslichts aus, das einem der Glasplatte nachgeordneten Detektor zugeführt wird. Die Messung nach dem optisch aktiven Bauteil könnte in vorteilhafter Weise nach einem dichroitischen Strahlteiler oder einem teildurchlässigen Spiegel, der sowieso in dem Strahlengang des optischen Aufbaus angeordnet ist, durchgeführt werden. Demgemäß wäre der entsprechende Detektor hinter dem teildurchlässigen Spiegel bzw. dem dichroitischen Strahlteiler zu positionieren, eine Justierung einzelner Komponenten des optischen Aufbaus ist durch diese Vorgehensweise in vorteilhafter Weise nicht erforderlich.

[0021] Die Messung könnte auch in dem nicht eingekoppelten Teil des Strahlengangs erfolgen. Üblicherweise wird der nicht eingekoppelte Teil des Laserlichts von einer Strahlfalle absorbiert. An deren Stelle könnte sich jedoch ein entsprechender Detektor befinden, der eine Wellenlängenänderung bzw. die Lichtleistung detektiert. Idealerweise wird zur Messung des Ist-Werts eine Messung des Lichts vor dem optisch aktiven Bauteil und in dem nicht eingekoppelten Teil des Strahlengangs durchgeführt oder die Messung erfolgt nach dem optischen Bauteil – also in dem optischen Aufbau – und in dem nicht eingekoppelten Teil des Strahlengangs. Auch eine Detektion des Ist-Werts vor und nach dem Bauteil ist denkbar.

[0022] Die detektierten Meßwerte werden einem Regelglied zugeführt. Bei diesen detektierten Meßwerten handelt es sich also um den bzw. die Ist-Werte, die für das Regelglied maßgeblich ist bzw. sind.

[0023] In einer konkreten Ausführungsform werden die Meßwerte eines vor dem Bauteil angeordneten Detektors und die Meßwerte eines nach dem Bauteil angeordneten Detektors simultan detektiert. Der Quotient dieser Meßwerte wird dem Regelglied zugeführt. Diese Vorgehensweise ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die Regelung einen zeitlichen Leistungsverlauf des einzukoppelnden Lichts zu berücksichtigen ist. Ein zeitlicher Leistungsverlauf des einzukoppelnden Lichts könnte beispielsweise durch eine sinusförmige Amplitudenmodulation des Lichts der Laserlichtquelle darstellen, deren Ist-Wert von dem vor dem optischen Bauteil angeordneten Detektor detektiert wird. Die simulierte Detektion der Lichtleistung nach dem optisch aktiven Bauteil durch einen entsprechend angeordneten Detektor liefert einen Ist-Wert des eingekoppelten Lichts. Der Quotient dieser beiden detektierten Ist-Werte wird nun dem Regelglied zugeführt und die Regelung könnte darauf abstellen, dass dieser Quotient im Wesentlichen konstant ist.

[0024] Das Regelglied stellt über die Steuereinheit das optisch aktive Bauteil im Sinne der Regelung. Die Steuereinheit steuert bzw. stellt das optisch aktive Bauteil durch das Beaufschlagen mit einer mechanischen Schallwelle. Letztendlich gibt die Steuereinheit eine Wechselspannung ab, die das an dem AOTF bzw. AOBS befindliche Piezo-Element zur mechanischen Auslenkung bzw. zu Schwingung veranlasst, wodurch die mechanische Schallwelle in dem AOTF bzw. AOBS erzeugt wird. Die wesentlichen Kenngrößen, die die Steuereinheit beim Stellen verändert, sind zum einen die Frequenz der Wechselspannung und zum anderen die Amplitude der Wechselspannung. Bei einer Änderung der Wellenlänge des Lichts wird die Frequenz der von der Steuereinheit ausgegebenen Wechselspannung derart geändert,

dass eine der eingangs beschriebenen Regelungsstrategien realisiert werden kann. Verändert sich die Leistung des Lichts, so kann darüber hinaus auch die Amplitude der von der Steuereinheit ausgegebenen Wechselspannung verändert bzw. gestellt werden, so dass sich eine der eingangs beschriebenen Regelungsstrategien realisieren läßt. Eine kombinierte Änderung der Frequenz der Wechselspannung und der Amplitude der Wechselspannung ist ebenfalls vorgesehen, da beispielsweise eine Veränderung der Wellenlänge des Lichts im Allgemeinen auch mit einer Leistungsänderung einhergeht. In diesem Fall wäre zunächst eine Frequenzänderung der von der Steuereinheit ausgegebenen Wechselspannung und danach eine Amplitudenänderung der von der Steuereinheit ausgegebenen Wechselspannung durchzuführen.

[0025] Der Regelkreis ist in Form einer elektrischen Schaltung ausgebildet. Hierbei könnte der Regelkreis eine PLL-Schaltung (Phase-Locked-Loop) sein, der Regelkreis könnte einen Proportionalregler, einen Proportional-Integralregler oder einen Proportional-Integral-Differenzialregler umfassen.

[0026] In einer konkreten Ausführungsform ist eine Kalibrierung vorgesehen. Die Kalibrierung könnte während, vor und/oder nach einem Beleuchtungs- und/oder Detektionsvorgang des optischen Aufbaus erfolgen. Falls es sich bei dem optischen Aufbau um ein konfokales Rastermikroskop handelt, ist eine Kalibrierung vor und nach einem Detektionsvorgang bzw. einer Bildaufnahme vorgesehen. Falls eine länger andauernde Objektdetektion durchgeführt wird, ist auch eine Kalibrierung während des Aufnahmeprozesses mit dem konfokalen Rastermikroskop vorgesehen.

[0027] Die Kalibrierung könnte mit einem Beleuchtungs- und/oder Detektionsvorgang des optischen Aufbaus, insbesondere des konfokalen Rastermikroskops, synchronisierbar sein.

[0028] Zur Kalibrierung werden mindestens zwei verschiedene Meßwerte detektiert. Vorzugsweise werden drei verschiedene Meßwerte aufgenommen. Hinsichtlich der Kalibrierung der Laserleistung könnte beispielsweise die Laserlichtquelle auf eine zunächst geringe Leistungsstufe, beispielsweise 20 mW eingestellt werden und die Lichtleistung mit einem entsprechend angeordneten Detektor bestimmt werden. Danach könnte die Leistung der Laserlichtquelle auf einen größeren Wert, beispielsweise 80 mW, eingestellt werden und mit dem Detektor eine zweite Messung der nunmehr vorliegenden Laserlichtleistung vorgenommen werden. Schließlich könnte eine dritte Kalibrationsmessung durchgeführt werden, bei der der Laser auf eine hohe Ausgangsleistung, beispielsweise 150 mW, eingestellt wird. Falls die Kalibrierung genügend Meßwerte umfasst, könnte sogar der einzustellende Regelungswert anhand einer Kalibrationsmessung ermittelt werden.

[0029] Die Regelung berücksichtigt die Kalibrierungswerte, indem beispielsweise die gemessenen Kalibrierungswerte dem Regelglied übermittelt bzw. dort abgespeichert werden. Falls mehrere Kalibrierungen vorgesehen sind, könnten die neuen Kalibrierungswerte die Alten ersetzen oder zusätzlich in dem Regelglied gespeichert werden.

[0030] Die Zuordnung zwischen gemessenen Werten – Ist-Werten – und Stellwerten – Soll-Werte – könnte über eine LUT (Look-Up-Table) erfolgen. Dort sind die Werte eingetragen, die das Stellglied bzw. die Steuereinheit des Bauteils ausgibt, wenn entsprechend gemessene Ist-Werte vorliegen. Eine Zuordnung zwischen gemessenen Werten und Stellwerten könnte mit Hilfe eines Steuerrechners erfolgen.

[0031] Im Allgemeinen wird die Verwendung von Licht unterschiedlicher Wellenlängen vorgesehen sein. In diesem

Fall bezieht sich die Regelung jeweils auf das Licht einer Wellenlänge. Wenn also simultan Licht zweier unterschiedlicher Wellenlängen in einen optischen Aufbau einzukoppeln sind, könnte die Regelung beispielsweise derart ausgelegt sein, dass eine Maximierung der Lichtleistung des Lichts der ersten Wellenlänge und das Erzielen einer im Wesentlichen konstanten Lichtleistung des Lichts der zweiten Wellenlänge durch die Regelung erreicht werden kann.

[0032] Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Patentansprüche und andererseits auf die nachfolgende Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung werden auch im Allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Lehre erläutert. In der Zeichnung zeigen

[0033] Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zum Einkoppeln von Licht mindestens einer Wellenlänge in einen optischen Aufbau,

[0034] Fig. 2 eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung, [0035] Fig. 3 eine schematische Darstellung eines dritten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung und

[0036] Fig. 4 eine schematische Darstellung eines vierten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

[0037] Die Fig. 1 bis 4 zeigen jeweils eine Vorrichtung zum Einkoppeln von Licht 1 mindestens einer Wellenlänge einer Laserlichtquelle 2 in einen optischen Aufbau 3. Die Baugruppen des optischen Aufbaus 3 sind im Hinblick auf eine übersichtliche Darstellung lediglich in Fig. 1 mit dem Bezugszeichen 3 gezeigt. Bei dem optischen Aufbau 3 handelt es sich um ein konfokales Rastermikroskop. Die Vorrichtung zum Einkoppeln von Licht 1 weist ein optisch aktives Bauteil 4 auf, dass zur Selektion der Wellenlänge und zur Einstellung der Leistung des in den optischen Aufbau 3 eingekoppelten Lichts 5 dient. Das in das konfokale Rastermikroskop eingekoppelte Licht 5 trifft auf einen dichroitischen Strahlteiler 6 und wird zur Scaneinrichtung 7 reflektiert, wo das Licht mit Hilfe eines beweglich angeordneten Spiegels in zwei senkrecht zueinander stehenden Richtungen abgelenkt wird. Das so abgelenkte Licht wird über die Mikroskopoptik 8 zum Objekt 9 geleitet. Das vom Objekt 9 zurückkehrende Licht durchläuft – in umgekehrter Reihenfolge – die Mikroskopoptik 8, die Scaneinrichtung 7 und passiert den dichroitischen Strahlteiler 6 in Richtung zum Detektor 10.

[0038] Erfindungsgemäß dient zur Beeinflussung des eingekoppelten Lichts 5 das Bauteil 4 als Steilglied einer Regelung 11. Die Regelung 11 ist zur übersichtlichen Darstellung lediglich in den Fig. 1 und 3 mit dem Bezugszeichen 11 gekennzeichnet.

[0039] Die Regelung 11 der Fig. 1 dient zur Minimierung von Lichtleistungsschwankungen des eingekoppelten Lichts 5 und zum Erzielen einer konstanten Lichtleistung in dem optischen Aufbau 3.

[0040] In der Fig. 4 ist gezeigt, dass die Regelung 11 mit dem Scanvorgang des konfokalen Rastermikroskops synchronisiert ist. Hierzu ist die Scaneinrichtung 7 über die Verbindung 12 mit einem Bauteil der Regelung 11 gekoppelt. Über die Verbindung 12 werden der Regelung 11 die Positionsdaten der Scaneinrichtung 7 zur Verfügung gestellt.

[0041] Das optisch aktive Bauteil 4 der Fig. 1 bis 4 ist als akustooptisches Bauteil ausgeführt, und zwar als ein AOTF.

Das AOTF 4 wird von einer Steuereinheit 13 angesteuert. Das AOTF 4 kann mit einer Schallwelle einer bestimmten Frequenz beaufschlagt werden, so dass Licht eines einer Frequenz der Schallwelle entsprechenden Wellenlängenbereichs in den optischen Aufbau 3 einkoppelbar ist. Hierzu gibt die Steuereinheit 13 über die Stelleitung 14 eine elektromagnetische Wechselspannung aus. Diese Wechselspannung bewirkt eine periodische Auslenkung des nicht eingeleiteten, direkt am AOTF 4 angebrachten Piezo-Elements, das bewirkt, dass durch das Kristall des AOTF's eine Schallwelle einer der elektromagnetischen Wechselspannung entsprechenden Frequenz durchläuft.

[0042] Durch die Amplitude der Frequenzbeschaltung des AOTF's 4 ist die Leistung des eingekoppelten Lichts 5 beeinflussbar. Das AOTF 4 ist derart im Strahlengang angeordnet, dass das Licht 1 nur bei aktiver Beschaltung der Steuereinheit 13 in den optischen Aufbau 3 eingekoppelt wird, d. h. die Steuereinheit 13 muss zum Einkoppeln von Licht 1 einer bestimmten Wellenlänge das AOTF mit einer elektromagnetischen Wechselspannung derart beaufschlagt werden, dass die durch das AOTF 4 laufende Schallwelle die Bragg-Bedingung für das Licht der bestimmten Wellenlänge erfüllt und somit als eingekoppeltes Licht 5 in dem optischen Aufbau 3 dem konfokalen Rastermikroskop zur Verfügung steht. Falls das AOTF nicht oder mit keiner der Wellenlängen des Lichts entsprechenden Schallwelle der korrespondierenden Frequenz beaufschlagt wird, wird das Licht 1 nach dem Durchlaufen des AOTF's als nicht eingekoppeltes Licht 15 von der Strahlfalle 16 absorbiert.

[0043] In den Ausführungsbeispielen der Fig. 2 bis 4 wird die Lichtleistung von entsprechenden Detektoren 17, 18 detektiert. In dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 werden die Änderungen der Wellenlängen des Lichts mit Hilfe eines Halbleiterwavemeters 19 detektiert. Bei den Ausführungsbeispielen der Fig. 1, 3 und 4 ist der zur Messung dienende Detektor 18 bzw. 19 vor dem optischen Bauteil angeordnet, und zwar hinter einer unbeschichteten Glasplatte 20, die einen geringen Teil des von der Laserlichtquelle 2 emittierten Lichts 1 dem jeweiligen Detektor zuführt. Bei den Ausführungsbeispielen der Fig. 2 bis 4 ist zusätzlich noch jeweils ein Detektor 17 dem optisch aktiven Bauteil 4 nachgeordnet. Der Detektor 17 ist hinter einem dichroitischen Strahlteiler 6 angeordnet. Bei dem Detektor 17 handelt es sich um einen Detektor, der die Lichtleistung ermittelt, bei dem Detektor 18 handelt es sich um einen Detektor, der sowohl die Lichtleistung als auch die Wellenlänge des Lichts detektieren kann.

[0044] Den Fig. 1 und 2 ist entnehmbar, dass die von den Detektoren 17, 18 und 19 detektierten Messwerte einem Regelglied 21 zugeführt werden. In den Fig. 3 und 4 ist gezeigt, dass die Messwerte eines vor dem optischen aktiven Bauteil 4 angeordneten Detektors 18 und die Messwerte eines nach den optischen Bauteil 4 angeordneten Detektors 17 detektiert werden. Die Detektion erfolgt simultan, der Quotient dieser Messwerte wird von der Verarbeitungseinheit 22 ermittelt und sodann dem Regelglied 21 zugeführt.

[0045] Das Regelglied 21 stellt über die Steuereinheit 13 das optisch aktive Bauteil 4 im Sinne der Regelung. Bei einer Änderung der Wellenlänge des Lichts der Laserlichtquelle 2 wird die Frequenz der das optische aktive Bauteil 4 beaufschlagenden Schallwelle von der Steuereinheit 13 gestellt. Bei einer Änderung der Leistung des Lichts wird die Amplitude der das optisch aktive Bauteil 4 beaufschlagenden Schallwelle von der Steuereinheit 13 gestellt.

[0046] Die Regelungsstrategie des in Fig. 3 gezeigten Ausführungsbeispiels ist zur Regelung auf einen bestimmten Bruchteil der maximalen Transmission ausgelegt. Mit Transmission ist die Leistung des eingekoppelten Lichts 5

und das den dichroitischen Strahlteiler 6 passierenden Lichts gemeint, dass mit dem Leistungsdetektor 17 nachgewiesen wird. In diesem Ausführungsbeispiel entspricht die Regelung auf einen bestimmten Transmissionswert gleichzeitig die Regelung auf einen entsprechenden Leistungswert des eingekoppelten Lichts, sämtliche sich auf die Leistung des eingekoppelten Lichts beziehenden Regelungsstrategien sind jedoch auch im Hinblick auf die Transmission denkbar. [0047] Abschließend sei ganz besonders darauf hingewiesen, dass die voranstehend erörterten Ausführungsbeispiele lediglich zur Beschreibung der beanspruchten Lehre dienen, diese jedoch nicht auf die Ausführungsbeispiele einschränken.

Bezugszeichenliste

- 1 Licht von (2)
- 2 Laserlichtquelle
- 3 optischer Aufbau
- 4 optisch aktives Bauteil, AOTF
- 5 in (3) eingekoppeltes Licht
- 6 dichroitischer Strahlteiler
- 7 Scaneinrichtung
- 8 Mikroskopoptik
- 9 Objekt
- 10 Detektor
- 11 Regelung
- 12 Verbindung zwischen (7) und (11)
- 13 Steuereinheit von (4)
- 14 Stelleitung
- 15 nicht in (3) eingekoppeltes Licht
- 16 Strahlfalle
- 17 Leistungsdetektor
- 18 Leistungs- und Wellenlängendetektor
- 19 Wellenlängendetektor
- 20 unbeschichtete Glasplatte
- 21 Regelglied
- 22 Verarbeitungseinheit

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Einkoppeln von Licht (1) mindestens einer Wellenlänge einer Laserlichtquelle (2) in einen optischen Aufbau (3), vorzugsweise in ein konfokales Rastermikroskop, mit einem optisch aktiven Bauteil (4), das insbesondere zur Selektion der Wellenlänge und zur Einstellung der Leistung des eingekoppelten Lichts (5) dient, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Beeinflussung des eingekoppelten Lichts (5) das Bauteil (4) als Stellglied einer Regelung (11) dient.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelung (11) zur Minimierung von Lichtleistungsschwankungen des eingekoppelten Lichts (5) dient.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein zeitlicher Lichtleistungsverlauf des einzukoppelnden Lichts (5) vorgegeben ist, der durch die Regelung (11) erzielbar ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelung (11) zur Maximierung der Lichtleistung des eingekoppelten Lichts (5) dient.
5. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelung (11) zum Erzielen einer im wesentlichen konstanten Lichtleistung des eingekoppelten Lichts (5) dient.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistung des eingekoppelten Lichts (5) einen beliebigen Bruchteil der maximalen Lichtlei-

stung aufweist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelung (11) die von einem Benutzer durchgeführten Änderung und/oder Einstellungen berücksichtigt. 5
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Änderungen und/oder die Einstellungen die Wahl der Leistung der Laserlichtquelle (2), die Wahl des Verhältnisses zwischen eingekoppeltem und nicht eingekoppeltem Licht (5, 15) und/oder eine periodische Amplitudenmodulation des einzukoppelnden Lichts (5), die vorzugsweise sinusförmig ist, umfassen. 10
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelung (11) mit einem Beleuchtungs- und/oder Detektionsvorgang des optischen Aufbaus (3), insbesondere des konfokalen Rastermikroskops, synchronisierbar ist. 15
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das optisch aktive Bauteil (4) ein akustooptisches oder elektrooptisches Bauteil ist. 20
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das optisch aktive Bauteil (4) ein AOTF (Acousto-Optical-Tunable-Filter) oder ein AOBs (Acousto-Optical-Beam-Splitter) ist und von einer Steuereinheit (13) steuerbar ist. 25
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil (4) mit einer Schallwelle einer bestimmten Frequenz beaufschlagbar ist, so dass Licht einer der Frequenz der Schallwelle entsprechenden Wellenlängenbereichs einkoppelbar ist. 30
13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Amplitude der Frequenzbeschaltung des Bauteils (4) die Leistung des eingekoppelten Lichts (5) beeinflussbar ist. 35
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtleistung von einem entsprechenden Detektor (17, 18, 19) detektierbar ist.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass Änderungen der Wellenlänge des Lichts (1, 5) detektierbar ist. 40
16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung mit einem Spektrometer, Multibanddetektor oder Halbleiterwavemeter (18) erfolgt. 45
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der zur Messung dienende Detektor (17, 18, 19) vor und/oder nach dem optisch aktiven Bauteil (4) angeordnet ist. 50
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Detektor (17, 18, 19) hinter einem teildurchlässigen Spiegel, einem dichroitischen Strahlteiler (6), einer unbeschichteten Glasplatte (20) und/oder einer beschichteten Glasplatte angeordnet ist. 55
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung in dem nicht eingekoppelten Teil (15) des Strahlengangs erfolgt. 60
20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die detektierten Meßwerte einem Regelglied (21) zugeführt werden.
21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Meßwerte eines vor dem Bauteil (4) angeordneten Detektors (18) und die Meßwerte eines nach dem Bauteil (4) angeordneten Detektors (17) simultan detektiert werden, und der-

Quotient dieser Meßwerte einem Regelglied (21) zugeführt werden.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Regelglied (21) über die Steuereinheit (13) das Bauteil (4) im Sinne der Regelung stellt.
23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer Änderung der Wellenlänge des Lichts die Frequenz der das Bauteil (4) beaufschlagenden Schallwelle von der Steuereinheit (13) gestellt wird.
24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer Änderung der Leistung des Lichts die Amplitude der das Bauteil (4) beaufschlagenden Schallwelle von der Steuereinheit (13) gestellt wird.
25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass der Regelkreis in Form einer elektrischen Schaltung ausgebildet ist.
26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass der Regelkreis eine PLL-Schaltung (Phase-Locked-Loop) ist.
27. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass der Regelkreis einen Proportionalregler umfasst.
28. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass der Regelkreis einen Proportional-Integralregler umfasst.
29. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass der Regelkreis einen Proportional-Integral-Differentialregler umfasst.
30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass eine Kalibrierung vorgesehen ist.
31. Vorrichtung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass die Kalibrierung während, vor und/oder nach einem Beleuchtungs- und/oder Detektionsvorgang des optischen Aufbaus (3), insbesondere des konfokalen Rastermikroskops, erfolgt.
32. Vorrichtung nach Anspruch 30 oder 31, dadurch gekennzeichnet, dass die Kalibrierung mit einem Beleuchtungs- und/oder Detektionsvorgang des optischen Aufbaus (3), insbesondere des konfokalen Rastermikroskops, synchronisierbar ist.
33. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass zur Kalibrierung mindestens zwei verschiedene Meßwerte detektiert werden.
34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass der einzustellende Regelungswert durch eine Kalibrationsmessung ermittelt wird.
35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 34, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelung die Kalibrierungswerte berücksichtigt.
36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 35, dadurch gekennzeichnet, dass die Zuordnung zwischen gemessenem Wert und Stellwert über eine LUT (Look-Up-Table) erfolgt.
37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 36, dadurch gekennzeichnet, dass die Zuordnung zwischen gemessenem Wert und Stellwert mit Hilfe eines Steuerrechners erfolgt.
38. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 37, wobei die Verwendung von Licht unterschiedlicher Wellenlängen vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelung sich jeweils auf das Licht einer Wel-

lenlänge bezieht.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

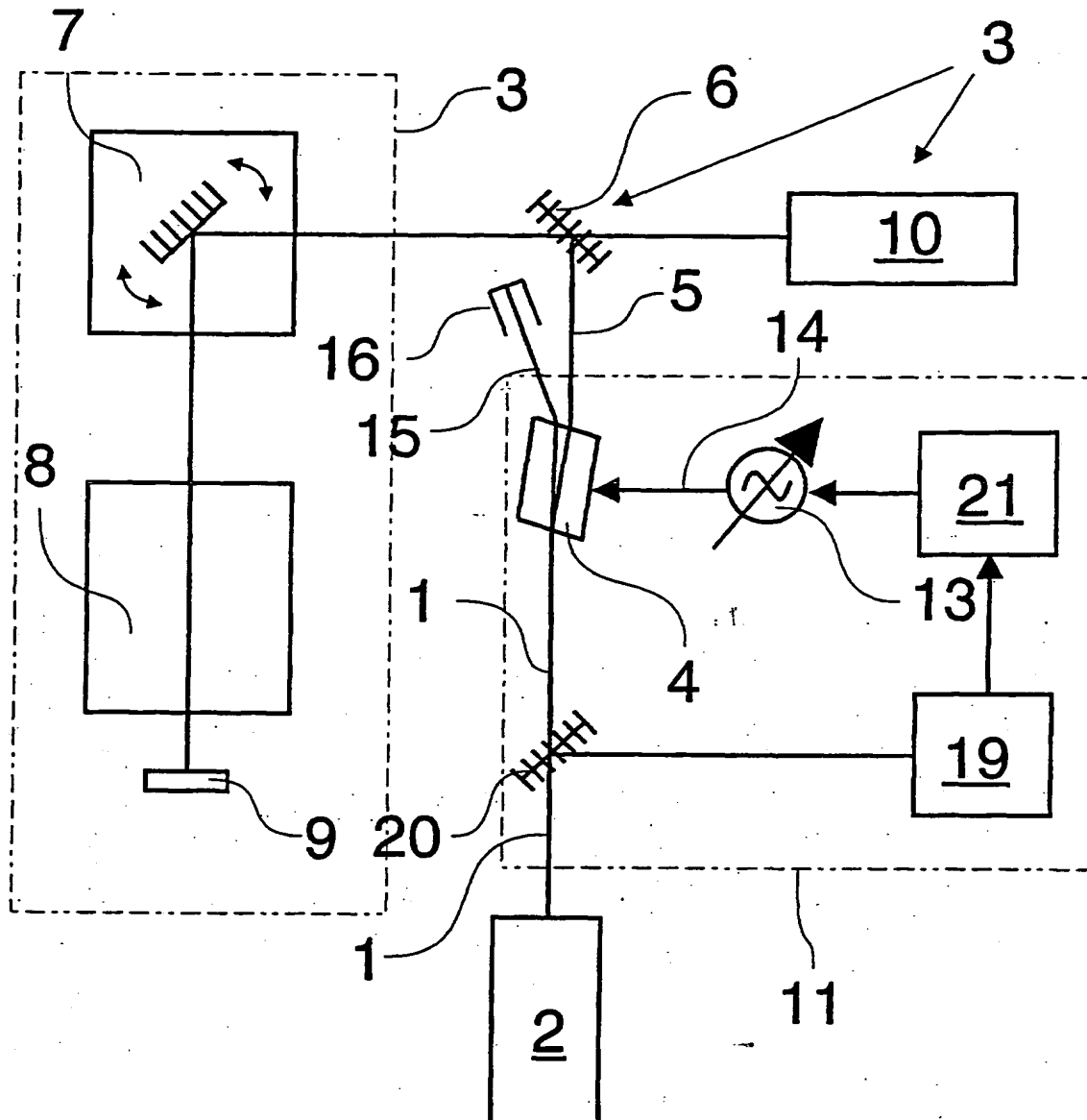


Fig. 1

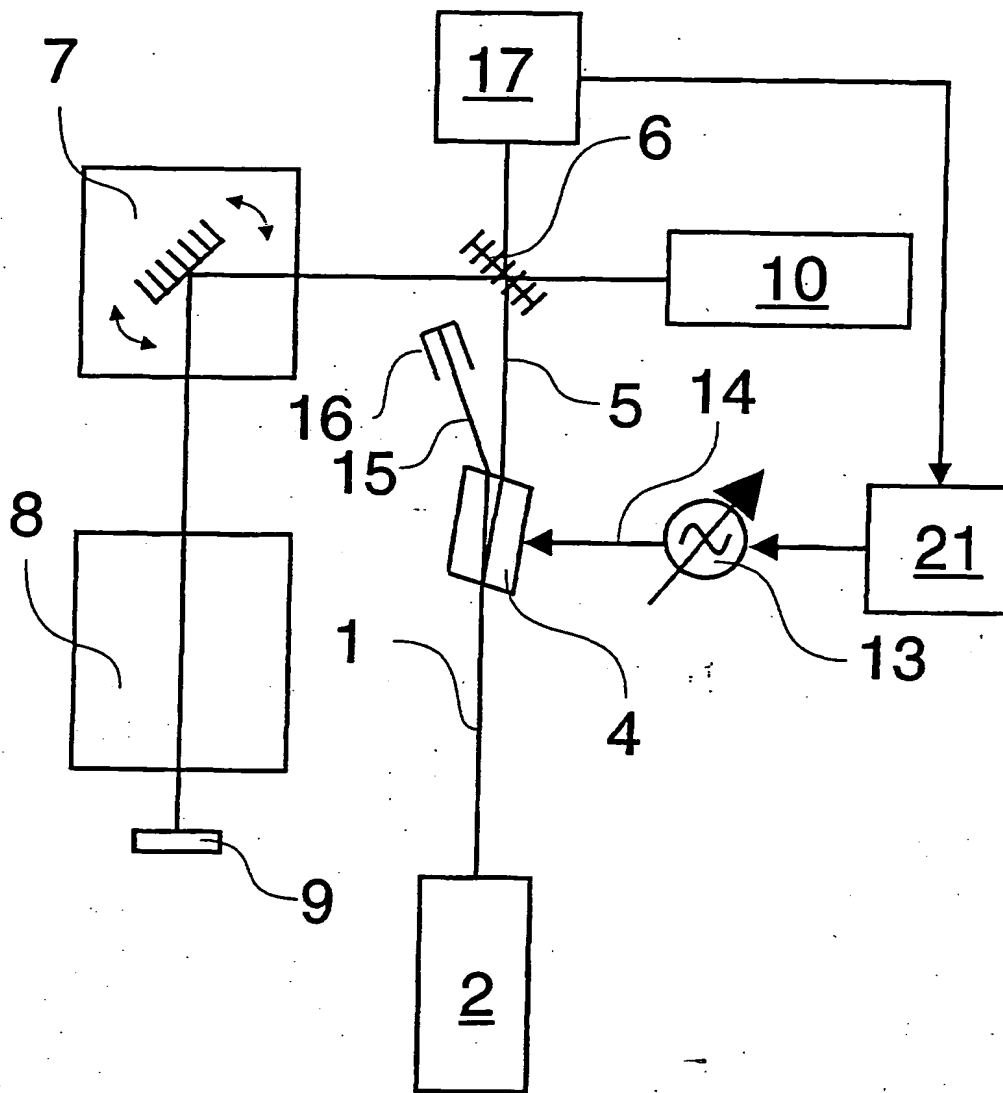


Fig. 2

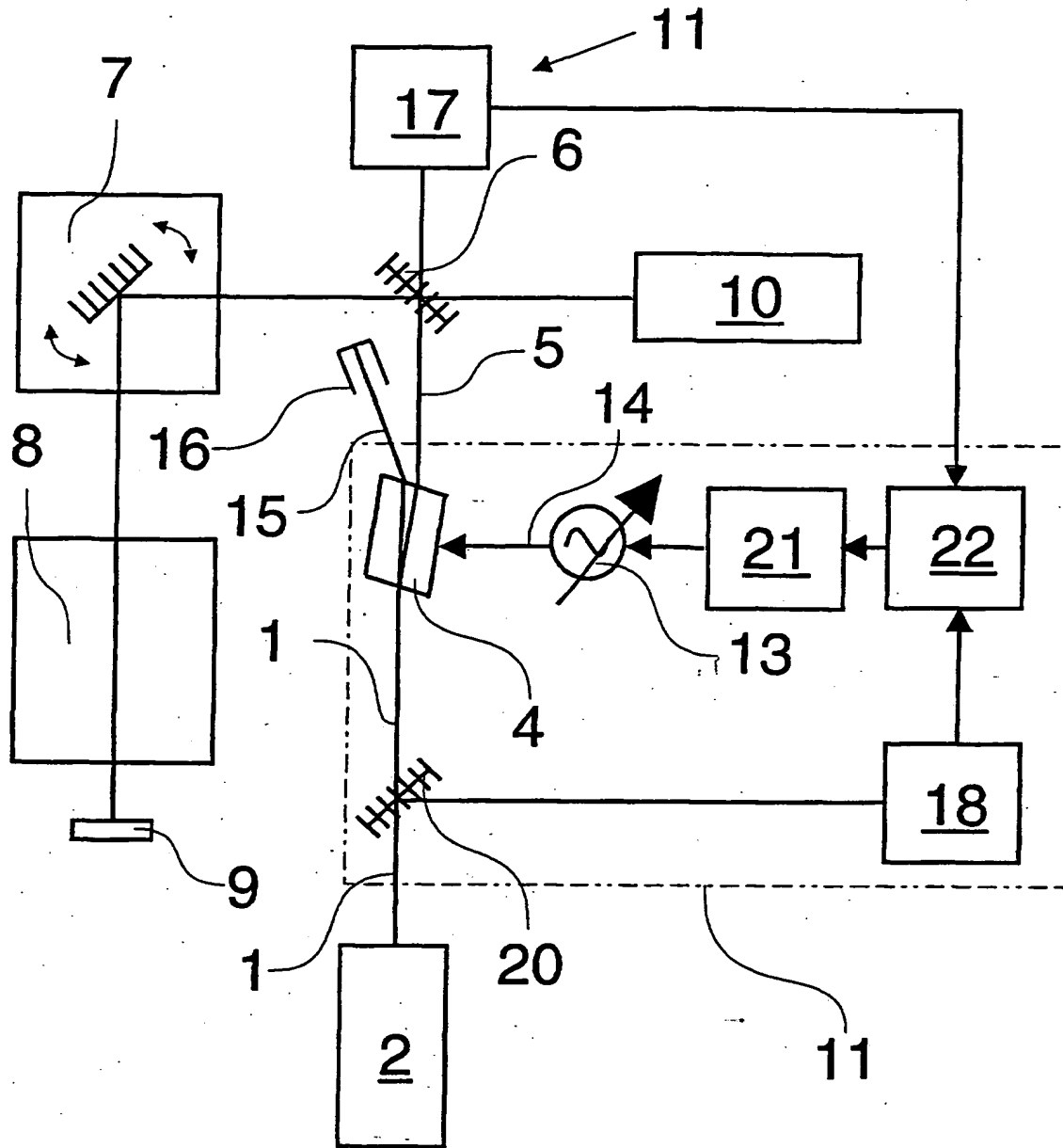


Fig. 3

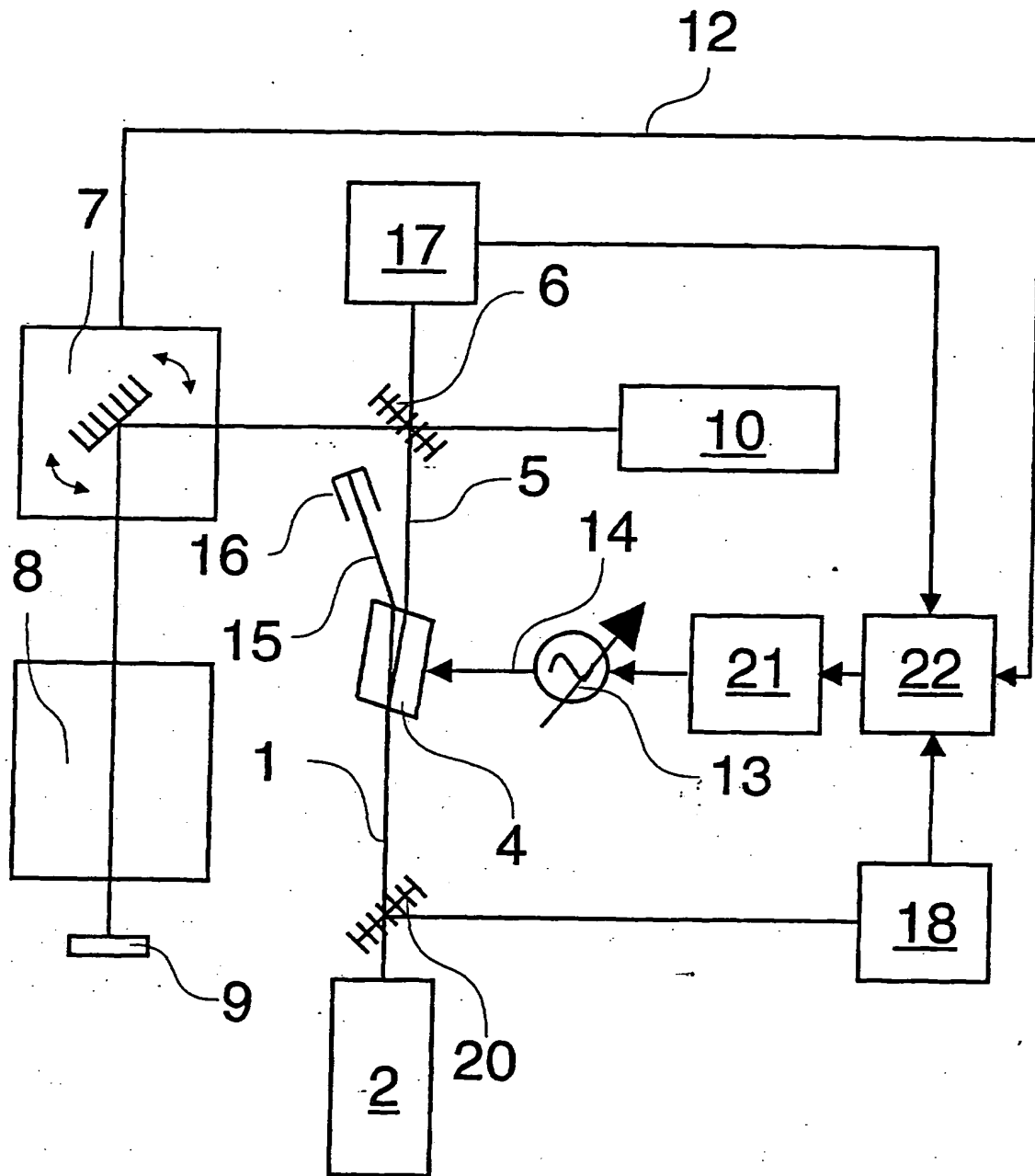


Fig. 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.